

Динамічний аналіз технічних систем: від моделі до реальності

Олег Дедов, д-р техн. наук, доц., проф. (ORCID: 0000-0001-5006-772X)

Київський університет будівництва і архітектури, Україна

АНОТАЦІЯ

У роботі розглядається динамічний аналіз систем як ключовий інструмент для розуміння їх поведінки при змінних у часі навантаженнях. Реалізація ідеї полягає в розробці таких обчислювальних моделей, які враховують взаємний вплив технічних систем і навколишнього середовища. Як правило, динамічні системи розглядають в лінійній постановці задачі, що не відображає реальних процесів, які відбуваються в технічних системах. Тому виникає необхідність створення і дослідження моделей динамічних систем, які адекватно відображали поведінку в реальних умовах. Особливу увагу приділено методам та критеріям верифікації та валідації моделей при теоретичному та експериментальних дослідженнях. Наведені приклади реалізації динамічного аналізу для технічних об'єктів.

Ключові слова: динамічна модель, власна частота коливань, динамічний аналіз.

1. ВСТУП

На сьогоднішній день технології моделювання і аналізу технічних конструкцій широко застосовуються при вирішенні інженерних завдань. Однак, як правило, розгляд конструкцій виконується у пружній постановці задачі та передбачає статичний аналіз напружено-деформованого стану, адже інженерна практика не має в своєму розпорядженні єдиних універсальних методів аналізу технічних об'єктів. Такий стан обумовлений складними явищами і процесами, які протікають у реальних конструкціях. Серед труднощів, які мають місце при дослідженні складних динамічних систем можна відмітити наступні: вибір моделі оброблюваного середовища, що обумовлено відсутністю загальноприйнятого підходу до визначення характеристик та їх функціональних залежностей від параметрів вібрації; визначення та врахування сил опору, природа яких пов'язана не лише з дисипативними властивостями середовища, а й особливостями конструкції машини, її складових елементів, робочих органів, тощо. Одним з шляхів вирішення такої проблеми може бути побудова моделей та їх подальший аналіз на основі адекватного опису фізичних процесів і явищ, що мають місце у технічних системах.

2. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідженням динаміки технічних систем присвячено багато робіт. В роботі [1] розрахункову схему машини вважають системою з дискретними параметрами, а середовище моделюють системою з розподіленими параметрами. Розглянуті окремі випадки раціональних конструкцій плоских елементів, а методи оптимізації можуть бути застосовані при дослідженні невеликих і нескладних виробів. Напружено-деформований стан конструкцій при нелінійному аналізі є доволі складним і потребує забагато ресурсів про що зазначено в роботі [2]. Тому для складних розрахункових моделей автор рекомендує застосовувати моделювання скінченними елементами. Підхід у дослідженнях [3], за яким складна система моделюється як коливання твердого тіла на кінематичних основах, основними елементами яких є опори кочення, обмежені поверхнями обертання високого порядку при горизонтальному переміщенні основи. У роботі [4]

досліджено вібраційну поведінку шпали під час проходження поїзда та визначено фізичні причини виникнення вібрації шпал. А в роботі [5] наведено дослідження, в яких демпфування приймається, як частото незалежне, тобто є функцією напруження, що справедливо в певних процесах. Особливо це важливо для прогнозування та застосування резонансів, як енергоощадних режимів. Автори відмічають про застосування ефектів резонансу, яке залежить від конкретної розрахункової схеми та виду середовища.

Разом з тим, у більшості випадків не враховуються конструкційно-технологічні особливості технічних систем і мають обмежений інформаційний характер. Особливо це стосується просторових конструкцій, в яких проблемним питанням є складність створення моделей. Встановлення ж взаємвпливу між спорудою та обладнанням потребує більш глибоких досліджень і відповідних розрахунків. Труднощі, які виникають при таких дослідженнях пов'язані із відсутністю загальноприйнятих моделей, які описують загальну систему взаємодії; відсутністю даних про ті чи інші характеристики об'єктів взаємодії та законів передачі енергії між окремими підсистемами. Вивчення поведінки будівельних конструкцій під впливом динамічного навантаження є актуальним напрямком як теоретичних так і експериментальних досліджень.

3. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У загальному випадку будь-яка технічна конструкція має розглядатися як складна динамічна система, яка підкоряється загальним законам руху, як у глобальному розумінні тобто для всієї системи, так і часткових випадках – підсистем та елементів підсистем. Очевидно, що важливим аспектом досліджень є аналіз ризиків, які приводять до негативних наслідків. Відмова технічної системи у залежності від її призначення може носити різний характер, але причини її виникнення притаманні більшості конструкцій: зношування, порушення монтажу, відсутність належних розрахунків щодо взаємного впливу елементів. За умови розгляду технічної системи як будівельної конструкції, у якій розташоване технологічне обладнання та виконується деякий технологічний процес, як правило, зношування споруди і правильність виконання монтажних робіт може бути вирішено в межах загального інструментального обстеження будівельного об'єкту.

Встановлення ж взаємовпливу між спорудою та обладнанням потребує більш глибоких досліджень і відповідних розрахунків.

Натурні виміри коливань конструкцій виконувалися під час виконання дослідження виробничого цеху. Основна причина виконання обстеження технічного стану споруди - наявність понаднормових переміщень стіни при тривалій роботі технологічного обладнання.

У випадку модернізації існуючої моделі машини технологічного призначення, розрахункова модель в такому комплексі, дозволить проаналізувати технічний рівень конструкції та виконати прогнозування її надійності, а в комплексі з виконаними експериментальними дослідженнями оцінити поточний технічний стан, появу можливих відмов, тощо.

На основі проведення таких досліджень можна оцінити характер і величину зміни напружено-деформованого стану елементів та металоконструкцій в цілому, що дасть можливість визначити якість виготовлення конструкції і відповідність її проектним даним (виконання зварних швів, болтових з'єднань, цілісності конструкції).

Експериментальні дослідження виконувались в умовах експлуатації об'єкту. Виконання досліджень полягало у експериментальному вимірюванні параметрів руху елементів несучих конструкцій в реальному часі з подальшою їх обробкою та визначенням динамічних характеристик таких елементів та споруди в цілому.

Отримані результати демонструють наявність коливань у широкому спектрі коливань. Тобто технічна система сприймає багатокомпонентні коливання різної природи. Числові значення зафіксованих впливів не виходять за межі допустимих значень. Але наявність широкосмугових коливань може бути причиною виникнення близьких до резонансних явищ окремих елементів конструкції. Спектральний аналіз коливань (рис.1) підтверджує наявність багатокомпонентних коливань

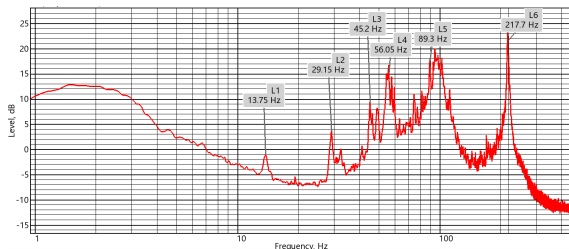


Рисунок 1. Спектрограма технічної системи у початковому стані

Зареєстровані дані динамічного навантаження (ударного імпульсу) на технічну конструкцію (рис. 2) демонструють складні коливання на окремих її елементах. Як видно з осцилограми відбувається зміна розрахункової схеми, адже елементи конструкції не повертаються в початкове положення.

При повторному аналізі віброграм у стаціонарному стані технічної конструкції виявлені зміни у спектрі частот коливань, що свідчить про зміну конструкції, зокрема її розрахункової схеми (рис. 3). Очевидно, що отримати аналогічний результат за допомогою чисельного аналізу потребує детального опису як елементів конструкції так і їх зв'язків між собою (жорсткість з'єднань, наявність контактних задач тощо), що ускладнює процес моделювання.

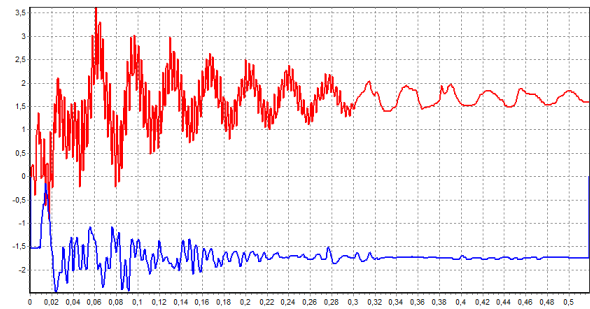


Рисунок 2. Осцилограма переміщень технічної конструкції при динамічному навантаженні

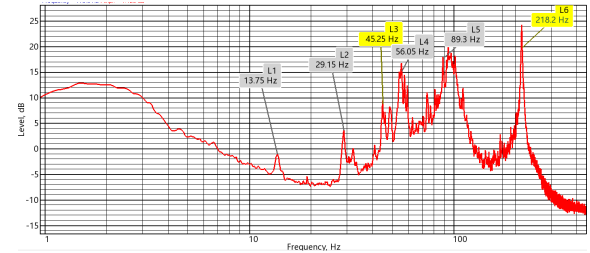


Рисунок 3. Спектрограма технічної системи після дії динамічного навантаження

Отримані експериментальні результати коливань та їх аналіз використаний при моделюванні досліджуваної системи. Виконаний статичний та модальний аналіз скінчено-елементної моделі каркасу у лінійній постановці з використанням методу скінчених елементів.

ВИСНОВКИ

Виявлені явища внутрішнього резонансу загальної технічної системи технологічного цеху дозволили чітко сформулювати причини появи надмірних коливань та оцінити стійкість конструкції до динамічного впливу.

Список літератури

- [1] Pawelczyk M., Wrona S. Wrona Impact of boundary conditions on shaping frequency response of a vibrating plate - modeling, optimization, and simulation. *Procedia Computer Science*, 2016. V. 80, 1170–1179.
- [2] Zhao Yue-min., Liu Chu-sheng, He Xiao-mei, Zhang Cheng-yong, Wang Yi-bin, Ren Zi-ting. Dynamic design theory and application of large vibrating screen. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2009. 1, 776–784.
- [3] Bissembayev, K., Jomartov, A., Tuleshov, A., & Dikambay, T.. Analysis of the Oscillating Motion of a Solid Body on Vibrating Bearers. *Machines*, 2019. 7 (3), 58.
- [4] 8. Cleantea, V. G., Brennana, M. J., Gatti, G., Thompson, D. J. On the spectrum of rail vibration generated by a passing train. *Procedia Engineering*, 2017. 199, 2657–2662.
- [5] Nazarenko, I., Gaidaichuk, V., Dedov, O., Diachenko, O. Determination of stresses and strains in the shaping structure under spatial load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. 6(7 (96)), 13–18.